Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page ix

Table des matières

CHAPITRE 1
LA MÉCANISATION DE L'AGRICULTURE

Introduction 19

1.1 Mécanisation de la ferme 20
- 1.1.1 Facteurs techniques 21
  - A. Techniques de l'outillage 21
  - B. Autres techniques 21
- 1.1.2 Facteurs matériels 21
  - A. Diminution de la population agricole 21
  - B. Augmentation de la production 22
  - C. Agrandissement des entreprises agricoles 22
- 1.1.3 Facteurs économiques 22
  - A. Remplacement de la main-d'œuvre par la machinerie 22
  - B. Augmentation des revenus et outillage 22
  - C. Pression des coûts et des prix 23
  - D. Revenu agricole et accès au crédit 23
- 1.1.4 Facteurs sociaux 23
  - A. Mentalité des agriculteurs 23
  - B. Valeurs modernes 23
  - C. Incertitude 23

1.2 Effets de la mécanisation 24
- 1.2.1. Techniques de production 24
- 1.2.2. Structure matérielle de l'agriculture 24
- 1.2.3. Incidences économiques 24
- 1.2.4. Incidences sur la société agricole 24
  - A. Équilibre de la population 25
  - B. Effets sur la santé 25

1.3 Mécanisation et énergie 26
- 1.3.1 Bilan énergétique 26
- 1.3.2 Mécanisation et efficacité énergétique 27

Lectures et références 27

CHAPITRE 2
L'HISTORIQUE DES FORCES MOTRICES

Introduction 29

2.1 Énergie 30

2.2 Force 30

2.3 Travail 31

2.4 Puissance 31

2.5 Force humaine et animale 32
- 2.5.1. Énergie humaine 32
  - A. Puissance brute 32
  - B. Précision et créativité 32
  - C. Esclavage et servitude 32
- 2.5.2 Énergie animale 33
  - A. Espèces animales domestiquées 33
  - B. Puissance des chevaux 34
    - a) Domestication de la force animale 35
    - b) Attelages 35
    - c) Sécurité 36

2.6 Autres sources de puissance 36
- 2.6.1 Énergie éolienne 36
- 2.6.2 Énergie hydraulique 37
- 2.6.3 Électricité 37

2.7 Évolution des moteurs 38
- 2.7.1 Moteurs à vapeur 38
- 2.7.2 Moteurs à explosion 39
  - A. Précurseurs 39
  - B. Beau de Rochas 39
  - C. Otto et Clerk 39
  - D. Rudolph Diesel 40

2.8 Évolution du tracteur 40
- 2.8.1 Besoin de puissance 40

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page x

2.8.2 Engins stationnaires 40
2.8.3 Locomobiles 40
2.8.4 Tracteurs à essence de pétrole 41
A. Débuts 41
B. Années folles 41
C. Standardisation 41
D. Développement du tracteur moderne 42
2.9 Tracteurs modernes 43
2.9.1 Tracteurs d'usage courant 43
2.9.2 Tracteurs spécialisés 44
2.9.3 Tracteurs à chenilles 45
2.9.4 Composantes des tracteurs modernes 45
2.9.5 Perspectives d'évolution des tracteurs 45
A. Prix plus abordables 46
B. Avenues de développement 46
C. Tracteurs et ordinateurs 46
D. Exigences agronomiques et compétition 47
E. Développement d'outils agricoles 49
F. Nouvelles sources d'énergie 50
2.10 Exercices 53
Lectures et références 53

CHAPITRE 3
LES MOTEURS

Introduction 55
3.1 Moteurs à pistons 56
3.1.1 Bloc-cylindres et culasse 56
3.1.2 Composantes du bloc-cylindres 57
A. Cylindres et chemises 57
B. Piston 58
C. Segments 58
D. Bielle 59
E. Vilebrequin 59
F. Coussinets 60
G. Volant d'inertie 61
H. Arbre à cames et poussoirs 61
3.1.3 Culasse et composantes 62
A. Joint d'étanchéité 63
B. Soupapes 63
C. Culbuteurs 63
D. Couvercle de la culasse 63
E. Injecteur de carburant diésel 63
3.2 Fonctionnement des moteurs 64
3.2.1 Moteur à quatre temps 64
3.2.2 Moteur à deux temps 65
3.2.3 Moteur Diesel à deux temps 66
3.3 Caractéristiques des moteurs 67
3.3.1 Alésage 67
3.3.2 Course 68
3.3.3 Points morts 68
3.3.4 Espace mort 68
3.3.5 Cylindrée 68
3.3.6 Compression 68
3.3.7 Cylindrée et puissance 68
3.3.8 Couple 69
3.4 Moteurs Diesel et à essence 69
3.5 Synchronisation et séquence d'allumage 70
3.6 Systèmes auxiliaires des moteurs 71
3.7 Entretien et diagnostic 71
3.8 Nouveaux moteurs 72
3.8.1 StarRotor 72
3.8.2 Quasiturbine 74
3.8.3 Moteur Stirling 75
3.9 Exercices 76
Lectures et références 77

CHAPITRE 4
L'ALIMENTATION EN AIR ET L'ÉCHAPPEMENT

Introduction 79
4.1 Consommation d'air 80
4.1.1 Rôle de l'air 80
A. Combustion d'un litre de carburant 80
B. Régime et consommation d'air 80
4.1.2 Poussière 81
4.2 Composantes du système d'alimentation en air 81
4.2.1 Aspiration de l'air 82
4.2.2 Dépression et restrictions 82
4.3 Filtration de l'air 83
4.3.1 Préfiltre 83
4.3.2 Filtre principal 83

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xi

A. Filtre à cartouche sèche 83
B. Filtres à bain d'huile 85
4.3.3 Filtre de sûreté 85
4.3.4 Détecteur de colmatage 85
4.4 Suralimentation 86
4.4.1 Turbocompresseur 86
4.4.2 Refroidisseur intermédiaire 87
4.4.3 Précautions particulières 88
4.5 Système d'échappement 89
4.6 Entretien et diagnostic 89
4.7 Réacteur Pantone 90
4.8 Exercices 92
Lectures et références 93

CHAPITRE 5
LE SYSTÈME DE LUBRIFICATION

Introduction 95
5.1 Friction 96
5.2 Rôles des lubrifiants 96
5.3 Types de lubrifiants 97
5.3.1 Huiles 97
A. Huiles à moteur 97
B. Viscosité 98
C. Classes de service des huiles à moteur 100
D. Huiles synthétiques 101
E. Huiles à transmission 102
5.3.2 Graisses 103
5.3.3 Additifs à huiles à moteur 104
A. Améliorants de viscosité 104
B. Adoucissants des surfaces métalliques 105
C. Bouche-fuites 105
D. Autres substances 105
5.4 Mécanismes de lubrification 105
5.4.1 Barbotage 105
5.4.2 Système de canalisations 106
A. Pompe à huile 106
B. Refroidissement de l'huile 107
C. Filtration de l'huile 107
D. Capteur de pression 107
5.5 Consommation d'huile 108
5.6 Contamination de l'huile 108
5.7 Étanchéité 108
5.8 Coussinets et roulements 110
5.9 Entretien et diagnostic 112
5.10 Exercices 113
Lectures et références 114

CHAPITRE 6
LE SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT

Introduction 115
6.1 Bilan énergétique des moteurs 116
6.2 Systèmes de refroidissement 117
6.2.1 Refroidissement par eau 117
6.2.2 Refroidissement par air 118
6.2.3 Refroidissement par huile 119
6.3 Système de refroidissement par eau 119
6.3.1 Canalisations 119
6.3.2 Thermostat 119
6.3.3 Pompe à eau 121
6.3.4 Boyaux 121
6.3.5 Radiateur 121
6.3.6 Bouchon 122
6.3.7 Ventilateur 123
6.3.8 Liquide de refroidissement 123
6.3.9 Additifs 124
6.4 Système d'aide au démarrage 125
6.5 Entretien et diagnostic 125
6.5.1 Vérifications de routine 125
6.5.2 Préparation pour l'hiver 126
6.5.3 Vérification de l'étanchéité 126
6.5.4 Vidange 127
6.6 Exercices 127
Lectures et références 129

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xii

CHAPITRE 7

L'ALIMENTATION EN CARBURANT

Introduction....131

7.1 Caractéristiques des carburants....132
7.1.1 Contenu énergétique....132
7.1.2 Carburant diésel....132
7.1.3 Essence....134
7.1.4 Éthanol....134
7.1.5 Huiles végétales....135
7.1.6 Additifs à carburant diésel....135

7.2 Composantes des systèmes d'alimentation en carburant....135
7.2.1 Réservoir....135
7.2.2 Canalisations....136
7.2.3 Pompe d'alimentation....136
7.2.4 Filtres....136

7.3 Alimentation en carburant diésel....137
7.3.1 Pompe à injection....137
7.3.2 Types de pompes à injection....139
A. Pompe à pistons en ligne....139
B. Pompe rotative du type Bosh....141
C. Pompe rotative CAV....143
7.3.3 Injecteur à carburant diésel....144
7.3.4 Chambre de combustion....145
7.3.5 Injection électronique....146
7.3.6 Injection et pollution....149
A. Amélioration du système d'injection....149
B. Amélioration de la chambre de combustion149
C. Amélioration de l'admission d'air....149
7.3.7 Nouveaux systèmes d'injection....150
A. Injection à réserve commune....150
B. Injection électrohydraulique....150

7.4 Régulation du régime du moteur....150
7.4.1 Rôles et fonctionnement....151
7.4.2 Régulateurs mécaniques....151
7.4.3 Régulateurs électroniques....153

7.5 Entreposage du carburant....153

7.6 Aide au démarrage....154
7.6.1 Démarrage par éther....154
7.6.2 Bougie de préchauffage....154

7.7 Entretien et dépannage....156
7.7.1 Remplissage du réservoir de carburant....156
7.7.2 Changement des filtres....156
7.7.3 Additifs à carburant diésel....156
7.7.4 Purge des lignes de carburant....156

7.8 Exercices....156

Lectures et références....157

CHAPITRE 8

LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Introduction....159

8.1 Principes élémentaires de l'énergie électrique....160
8.1.1 Ampérage....160
8.1.2 Voltage....161
8.1.3 Résistance électrique....161
8.1.4 Circuit électrique....161
A. Sens du courant électrique....162
B. Circuit en série ou en parallèle....163
C. Lecture des schémas électriques....163
8.1.5 Courant continu....164
8.1.6 Courant alternatif....164

8.2 Batterie d'accumulateurs....165
8.2.1 Généralités....165
8.2.2 Composantes de la batterie....165
8.2.3 Électrolyte....166
A. Réactions chimiques....166
B. Densité....167
8.2.4 Caractéristiques d'une batterie....168
A. Ampérage....168
B. Voltage....168
C. Capacité de démarrage à froid....168
D. Capacité de réserve....169
8.2.5 Problèmes de batterie....169
A. Sulfatation....169
B. Court-circuit....170
C. Charge et décharge rapide....170
D. Autres défectuosités....170
8.2.6 Installation d'une batterie....170
8.2.7 Démarrage-secours....171
8.2.8 Règles de sécurité....171

8.3 Système de charge....172
8.3.1 Magnétisme et électricité....172
8.3.2 Génératrice....173
8.3.3 Alternateur....173
8.3.4 Régulateur de charge....175
8.3.5 Circuit de charge....175

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xiii

8.4 Système de démarrage 176
8.4.1 Circuit de démarrage 176
8.4.2 Lancement par inertie 178
8.4.3 Lancement par solénoïde 178
8.5 Circuits auxiliaires 179
8.5.1 Fusibles 180
8.5.2 Éclairage et signalisation 180
8.5.3 Indicateurs et commandes 181
8.5.4 Systèmes électroniques d'information 181
A. Aide à la décision 182
B. Aide au diagnostic 182
C. Capteurs 182
a) Signaux et capteurs analogiques 182
b) Signaux et capteurs numériques 183
8.5.5 Unités de contrôle 184
A. Principes du fonctionnement automatique 184
B. Utilisation des unités de contrôle 184
a) Facilitation 185
b) Optimisation 185
c) Protection 185
8.6 Entretien et diagnostic 185
8.6.1 Nettoyage de la batterie 185
8.6.2 Charge de la batterie 185
8.6.3 Vérification de la courroie de l'alternateur 187
8.7 Exercices 187
Lectures et références 188

CHAPITRE 9

LE SYSTÈME HYDRAULIQUE

Introduction 189
9.1 Principes d'hydraulique 190
9.2 Composantes hydrauliques 192
9.2.1 Fluide hydraulique 193
9.2.2 Réservoir 193
9.2.3 Pompes hydrauliques 194
A. Pompes à débit constant 194
B. Pompes à débit variable 195
9.2.4 Vérins 197
9.2.5 Distributeurs à tiroir 198
A. Distributeur à centre ouvert 200
B. Distributeur à centre fermé 200
C. Commandes des distributeurs 200
9.2.6 Soupapes hydrauliques 201
A. Soupape de limitation de pression 202
B. Soupape de décharge à pression ajustable 202
C. Soupape de contrôle de débit 203
D. Soupape réductrice de pression 203
E. Soupape de priorité 203
F. Soupape sélectrice 204
G. Soupape de retenue 204
H. Soupape de décélération 204
I. Soupape de séquence 204
J. Répartiteur de débit 204
9.2.7 Filtre 204
9.2.8 Moteur hydraulique 205
9.2.9 Canalisations et raccords 206
9.2.10 Sorties d'huile 206
9.3 Circuits hydrauliques 207
9.3.1 Circuit à centre ouvert 207
9.3.2 Circuit à centre fermé 208
9.3.3 Circuit à centre fermé avec capteur de charge 210
9.4 Attelage à trois points 211
9.4.1 Contrôle de la position 213
9.4.2 Contrôle de l'effort 214
A. Rôle 214
B. Fonctionnement 214
a) Capteur d'effort au troisième point 214
b) Capteur d'effort sur les bras de tirage 215
9.4.3 Autres fonctions hydrauliques 216
A. Contrôle de la vitesse d'abaissement 216
B. Contrôle de la vitesse de réactiondu contrôle d'effort 216
C. Contrôle de la hauteur des bras de tirage 216
D. Contrôle de la position à partir de l'arrière du tracteur 216
E. Contrôle du patinage 216
9.4.4 Catégories d'attelages à trois points 216
9.4.5 Maniement de l'attelage à trois points 217
9.5 Autres systèmes à commande hydraulique 217
9.5.1 Freins 218
9.5.2 Direction 218
9.6 Entretien et diagnostic 219
9.7 Exercices 220
Lectures et références 221

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xiv

CHAPITRE 10
LES TRANSMISSIONS

Introduction....223

10.1 Embrayages....224
10.1.1 Concepts de base....224
10.1.2 Évolution des embrayages....225
10.1.3 Embrayage à disque....226
A. Embrayage à disque sec....226
B. Embrayage multidisque humide....229
10.1.4 Commandes de l'embrayage....230

10.2 Boîte de vitesses....231
10.2.1 Principes de base....231
10.2.2 Boîte de vitesses mécanique....232
A. Boîte de vitesses à pignons baladeurs....232
B. Boîte de vitesses à manchon baladeur....234
C. Boîte de vitesses synchronisée....235
10.2.3 Boîte de vitesses mécanique à commande hydraulique....236
A. Amplificateur de couple....236
B. Inverseur à commande hydraulique....237
C. Boîte de vitesses semi-automatique....238
10.2.4 Transmission hydrostatique....242
10.2.5 Transmission à variation continue....242
10.2.6 Convertisseur de couple....245

10.3 Différentiel....246
10.3.1 Fonctionnement....247
10.3.2 Blocage du différentiel....248

10.4 Réducteurs finaux....249

10.5 Pont avant motorisé....250

10.6 Prise de force....252
10.6.1 Types de prises de force....252
10.6.2 Normes de fabrication....253
10.6.3 Développements récents....253
10.6.4 Prise de force et sécurité....254

10.7 Entretien et diagnostic....255

10.8 Exercices....257

Lectures et références....257

CHAPITRE 11
LES SYSTÈMES ET ORGANES AUXILIAIRES

Introduction....259

11.1 Freins....260
11.1.1 Systèmes de freinage....260
11.1.2 Frein de stationnement....260
11.1.3 Freins principaux....261
11.1.4 Freinage des remorques....262
11.1.5 Usage des freins....263
11.1.6 Ajustement des freins....264

11.2 Direction....264
11.2.1 Géométrie de la direction....264
A. Pincement....265
B. Angle d'inclinaison du pivot de roue....265
C. Angle de carrosage....266
D. Angle de chasse....266
E. Angle de braquage des roues....266
11.2.2 Mécanismes de la direction....266
A. Direction mécanique....267
B. Direction assistée....267
C. Direction hydrostatique....268

11.3 Cabine et tableau de bord....269
11.3.1 Principes d'ergonomie....270
11.3.2 Agencement des indicateurs....271
11.3.3 Agencement des commandes....271
11.3.4 Confort et santé du conducteur....274
A. Siège et cabine....274
B. Bruit....275

11.4 Carrosserie....276

11.5 Suspension....276

11.6 Équipements de sécurité....277
11.6.1 Structure de protection contre les renversements....278
11.6.2 Autres systèmes de protection....278

11.7 Pneus....279

11.8 Écartement des roues....280
11.8.1 Écartement des roues pour une charrue portée....281

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xv

11.8.2 Écartement des roues pour une charrue semi-portée ... 281
11.9 Boulonnerie ... 281
11.10 Entretien et diagnostic ... 282
11.11 Exercices ... 283
Lectures et références ... 283

CHAPITRE 12
L'UTILISATION OPTIMALE DU TRACTEUR

Introduction ... 285
12.1 Puissance d'un tracteur ... 286
12.1.1 Puissance à la prise de force ... 286
12.1.2 Puissance au moteur ... 287
12.1.3 Puissance à la barre de tirage ... 287
12.1.4 Régime du moteur ... 289
12.2 Traction d'un tracteur ... 291
12.2.1 Influence du sol ... 291
12.2.2 Résistance à l'avancement ... 292
12.2.3 Influence des pneus ... 293
A. Nomenclature des pneus ... 293
B. Pneus à carcasse radiale et à carcasse diagonale ... 295
C. Sélection des pneus ... 296
D. Pression des pneus ... 300
E. Utilisation de pneus à carcasses différentes 301
12.2.4 Traction et flottabilité ... 302
12.2.5 Patinage ... 302
A. Mesure du patinage ... 303
B. Masse sur les roues motrices et patinage ... 304
C. Calcul du lest ... 304
12.2.6 Roues doubles ou triples ... 306
12.2.7 Roues motrices auxiliaires ... 306
12.2.8 Blocage du différentiel ... 306
12.2.9 Transfert de masse ... 306
12.3 Capacité du champ ... 308
12.3.1 Notion de capacité ... 308
12.3.2 Notion d'efficacité ... 308
12.3.3 Facteurs d'efficacité ... 309
A. Entretien de la machinerie ... 309
B. Manœuvrabilité de la machinerie ... 309
C. État et forme des champs ... 310
D. Conducteur ... 310
E. Travaux complexes ... 311
12.3.4 Capacité théorique ... 311
12.3.5 Capacité effective ... 311
12.3.6 Dimension des instruments et puissance nécessaire ... 312
12.4 Conduite économique ... 313
12.4.1 Vitesse de travail ... 314
12.4.2 Vitesse et régime du moteur ... 314
12.4.3 Planification du travail ... 315
12.4.4 Réglage du patinage ... 315
12.5 Durée des machines agricoles ... 316
12.5.1 Entretien ... 316
A. Manuel d'entretien ... 316
B. Registres d'entretien ... 316
C. Inspection quotidienne ... 319
D. Entretien du tracteur et coût d'utilisation ... 319
12.5.2 Analyse des huiles ... 319
12.5.3 Entreposage de la machinerie ... 320
12.6 Exercices ... 320
Lectures et références ... 322

CHAPITRE 13
L'ÉVALUATION DES TRACTEURS

Introduction ... 323
13.1 Critères d'évaluation ... 324
13.1.1 Tracteurs usagés ... 324
A. Machines usagées ... 324
B. Recherche d'un tracteur usagé ... 325
C. Évaluation du vendeur ... 325
D. Inspection de la machine ... 326
a) Coup d'oeil rapide ... 326
b) Examen externe approfondi ... 326
E. Essais du tracteur ... 327

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xvi

a) Démarrage à froid 327
b) Thermostat et système de refroidissement 327
c) Émission de fumée 328
d) Embrayage et freinage 328
e) Autres vérifications 328
F. Autres tests 329
a) Test du dynamomètre 329
b) Test de compression 329
c) Test d'usure de la transmission 330
G. Considérations générales 330
H. Valeur d'un tracteur usagé 330
a) Méthode du CRÉAQ 330
b) Guide d'évaluation des tracteurs usagés 330
13.1.2 Tracteurs neufs 333
A. Compétence du vendeur 333
B. Qualité et durabilité des machines 333
C. Permanence du serice 334
D. Sservice après garantie 334
E. Fiches techniques 334
13.2 Tests objectifs 334
13.2.1 Historique et visée 334
13.2.2 Rapports du Nebraska 335
A. Principales caractéristiques et autres renseignements 335
B. Puissance à la prise de force 335
C. Couple à la prise de force 337
D. Puissance à la barre de tirage 338
E. Mesures du bruit 338
F. Essais additionnels 339
G. Pneus, masse et lestage 340
H. Système de relevage 340
13.2.3 Rapports de l'OCDE 340
A. Prise de force 342
B. Élévation du couple 343
C. Essais en traction 344
D. Système hydraulique 345
E. Courbes des essais de l'OCDE 345
13.3 Sélection d'un tracteur 346
13.4 Exercices 347
Lectures et références 348

CHAPITRE 14
L'ÉVALUATION DES COÛTS

Introduction 349
14.1 Coûts fixes 350
14.1.1 Dépréciation 350
A. Durée de vie 351
a) Vie physique 351
b) Vie utile 351
c) Vie économique 351
B. Amortissement 351
C. Inflation 353
14.1.2 Intérêts 354
14.1.3 Remisage 355
14.1.4 Assurances et taxes 356
14.1.5 Estimation des coûts fixes 357
14.2 Coûts variables 358
14.2.1 Réparation et entretien 358
14.2.2 Consommation de carburant 360
14.2.3 Consommation de lubrifiants 361
14.2.4 Main d'oeuvre 361
14.2.5 Délai d'exécution des travaux 361
14.3 Estimation des coûts 362
14.3.1 Coûts de la machinerie achetée à l'état neuf 362
14.3.2 Estimation des coûts d'utilisation de machines usagées 366
14.4 Rentabilité d'un tracteur 366
14.5 Exercices 369
Lectures et références 370

CHAPITRE 15
L'ACQUISITION D'UN TRACTEUR

Introduction 371
15.1 Achat ou échange d'un tracteur 372
15.1.1 Puissance supplémentaire 372
15.1.2 Coûts d'utilisation 372
15.1.3 Désuétude 373
15.1.4 Fiabilité 373

Liminaires-Tracteurs 21/02/08 11:53 Page xvii

15.1.5 Usure 373
15.1.6 Abri fiscal 375
15.2 Choix d'un tracteur 376
15.2.1 Facteurs techniques 376
15.2.2 Facteurs économiques 376
A. Coûts comparatifs 376
B. Valeur de revente 376
C. Capacité de remboursement 377
15.2.3 Puissance optimale 377
A. Coûts des retards 378
a) Facteur de retard (K) 379
b) Calcul des coûts des retards 379
B. Calcul de la puissance optimale 380
C. Calcul de la largeur optimale 380
15.3 Acquisition et utilisation des machines 381
15.3.1 Achat 381
15.3.2 Location 381
15.3.3 Contrat à forfait 382
15.3.4 Location-vente 383
15.3.5 Acquisition et utilisation collectives 384
15.4 Exercices 386
Lectures et références 386
Index 389